

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/CN05/000243

International filing date: 28 February 2005 (28.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: CN

Number: 200410025892.7

Filing date: 27 February 2004 (27.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 09 May 2005 (09.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

证 明

本证明之附件是向本局提交的下列专利申请副本

申 请 日： 2004. 02. 27

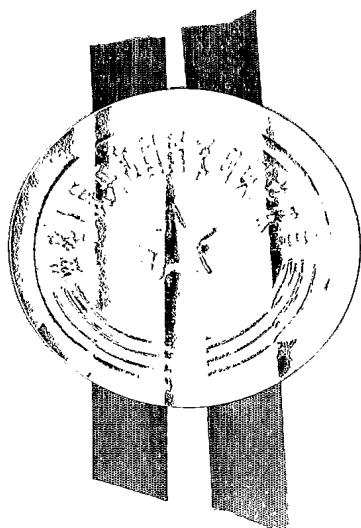
申 请 号： 200410025892. 7

申 请 类 别： 发明

发明创造名称： 大型煤粉炉优化控制系统

申 请 人： 王玷

发明人或设计人： 王玷



中华人民共和国
国家知识产权局局长

王秉川

2005 年 4 月 11 日

权 利 要 求 书

1、一种大型煤粉炉优化控制系统，包括计算机硬件和软件、原始数据采集系统、优化结果或控制指导或指令数据输出系统，优化结果或控制指导或指令数据输出系统具有控制指令或仅提供控制需要的参考信息，该系统与或不与完成基本运行控制任务的常规的独立仪表系统或计算机系统通过标准热工信号或数据通信共享锅炉及制粉系统的常规数据和控制系统，计算机软件通过实测的有关数据计算出煤成份的分析数据和/或锅炉效率和/或锅炉各项损失，其特征在于计算机软件的计算方法通过包括以下十个条件的方程组对锅炉燃烧平衡进行解析计算：

条件①：元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。

条件②：制粉系统的热平衡。

条件③：煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。

条件④～⑩：在下列十三项中选七项：

元素（例如 H、N）之间成份的回归方程或经验公式。

元素（例如 C、O）之间成份的回归方程或经验公式。

元素（例如 C、H）之间成份的回归方程或经验公式。

实测锅炉烟气的 SO₂得到的有煤的成份表示的相对映表达式。

实测锅炉烟气的 O₂得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 CO₂得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 N₂得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 H₂O 得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉的飞灰含碳量得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉的飞灰量或煤的灰份得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉的烟气量得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测或推测锅炉的总风量（包括测算漏风）得到的有煤的成份表示的相应表达式。

2. 一种大型煤粉炉优化控制系统，由计算机硬件和软件、原始数据采集系统、优化结果或控制指导或指令数据输出系统，优化结果或控制指导或指令数据输出系统具有控制指令或仅提供控制需要的参考信息，该系统与或不与完成基本运行控制任务的常规的独立仪表系统或计算机系统通过标准热工信号或数据通信共享锅炉及制粉系统的常规数据和控制系统，计算机软件通过实测的有关数据计算出煤成份的分析数据和/或锅炉效率和/或锅炉各项损失，其特征在于原始数据采集系统包括以下十种实测数据中的四种数据的通道：

锅炉烟气的 SO_2
锅炉烟气 CO_2
烟气的 N_2
烟气的 H_2O
锅炉的飞灰量或煤的灰份
锅炉的烟气量
锅炉的总风量（包括测算漏风）
飞灰含碳量
锅炉烟气的 O_2
锅炉烟气的 CO 。

3. 如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统，其特征还在于可以将烟气 CO 、飞灰含碳量、元素 N 分别设为常数。

4. 如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统，其特征还在于计算机软件根据煤的元素分析结果和门捷列夫经验公式或其他经验公式求出煤的低位发热量。

5. 如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统，其特征还在于计算机软件根据上述分析结果计算出锅炉的各项损失或效率。

6. 如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统，其特征还在于计算机软件根据煤的元素构成、挥发份或固定碳与 C 元素成份的回归方程或经验公式求出煤的挥发份和/或固定碳、水份、灰份工业分析结果。

7. 如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统，其特征还在于元素 C、

0之间成份的回归方程为 $O_{ar} = A_1 C_{ar} + B_1$, 适用于烟煤和褐煤, 其中对于烟煤 $A_1 = -0.9$, $B_1 = 85.0$, 相关系数 $\gamma = -0.98$; 对于褐煤 $A_1 = -0.84$, $B_1 = 80.38$, 相关系数 $\gamma = -0.95$ 。

8、如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统, 其特征还在于所述的元素 H、N 之间成份的回归方程为 $N_{ar} = A_2 H_{ar} + B_2$, 其中 $A_2 = 0.3$, $B_2 = 0$ 。

9、如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统, 其特征还在于元素 C、H 之间成份的回归方程为 $H_{ar} = A_3 C_{ar} + B_3$, 适用于无烟煤和烟煤, 其中对于无烟煤 $A_3 = -0.448$, $B_3 = 44.73$, 相关系数 $\gamma = -0.83$; 对于烟煤 $A_3 = -0.24$, $B_3 = 26.1$, 相关系数 $\gamma = -0.72$ 。

10、如权项 1 所述的一种大型煤粉炉优化控制系统, 其特征还在于挥发份 V 与元素 C 成份的回归方程为 $V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4$, 其中对于烟煤 $A_4 = -2.52$, $B_4 = 247.8$, 相关系数 $\gamma = -0.86$; 对于无烟煤 $A_4 = -1.087$, $B_4 = 107.5$, 相关系数 $\gamma = -0.86$; 对于褐煤 $A_4 = -1.14$, $B_4 = 129.9$, 相关系数 $\gamma = -0.74$ 。

说 明 书

大型煤粉炉优化控制系统

技术领域

本发明涉及一种大型煤粉炉优化控制系统，主要用于大型电站的大型煤粉燃烧锅炉通过计算机进行在线煤质和效率分析及优化控制技术领域。

背景技术

大型电站的大型煤粉燃烧锅炉的优化控制技术是一个世界范围的难题。在我国，大型电站的大型煤粉燃烧锅炉数量多，总装机量大，单机容量逐渐接近国际先进水平。同时由于煤炭资源丰富，煤矿众多，煤炭市场不稳定，与发达国家相比电厂用煤的煤种不稳定、煤的特性变化较大，更加需要具有实用价值的锅炉燃烧优化控制技术。因此大型电站的大型煤粉燃烧锅炉的优化控制技术在我国具有重要的技术、经济、安全和环保价值。锅炉燃烧优化控制技术的根本目的，是针对煤种不稳定、煤的特性变化较大的条件，实现煤质的在线分析和锅炉的各项损失在线分析，并根据煤质的在线分析结果和锅炉的各项损失在线分析的结果，在兼顾安全性、可靠性、环保性的同时，在保证锅炉负荷的前提下，通过调整锅炉的风和煤的炉膛分布即燃烧组织实现锅炉燃烧的最大效率，或实现安全性、可靠性、环保性、经济性的综合最优化。因此，实现煤质的在线分析和锅炉的各项损失在线分析，是大型电站的大型煤粉燃烧锅炉的优化控制技术的主要内容。现有技术方案主要是原煤的采制化：对原煤进行采样，制样，实验室化验，并通过工业分析结果指导燃烧调整，通过元素分析结果计算锅炉效率。为此通常大型电厂输煤系统加装了采样机。但原煤采制化的结果通常由于滞后于锅炉燃烧或无法与燃烧对应而没有太大的代表性和应用价值。

专利 99112866.4 提出了一种通过计算机软件在线对锅炉效率分析的求解方法，试图通过特异的推导过程找到锅炉效率的计算方法，但是其计算的机械不完全燃烧损失结果与实际规律偏离。

专利 02110116 提出了一种通过计算机软件在线对锅炉燃烧中的煤的元素分析及效率分析的联合求解方法，通过经验公式确定了煤的元素 C 和元素 H、元素 O 的单值性含量关系，测量给煤量、 SO_2 、 O_2 和飞灰含碳量，通过制粉系统热平衡求得 M，从而通过与锅炉效率联合求解得到煤的灰份值。

根据申请人的理论研究，锅炉燃烧平衡方程组由十个基本关系构成，其求解也需要十个条件。可以建立多种形式的条件和方程组，相对映的技术解决方案不同，但都可以实现求解。

锅炉过程能量守衡关系：

关系①：煤的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。

关系②：制粉系统的热平衡。

锅炉燃烧物质守衡关系：

关系③：元素 C 的量等于烟气中的 CO_2 、CO 成份与灰渣中的未燃尽碳所含元素 C 的量相等。

关系④：元素 C 部分生成灰渣中的未燃尽碳。

关系⑤：元素 C 部分不完全燃烧生成 CO。

关系⑥：元素 S 的量等于烟气中的 SO_2 成份所含元素 S 的量。

关系⑦：烟气中的水蒸气质量等于 H 燃烧生成的水、(空气中的水)与煤中的 M 之和。

关系⑧：空气氧气量与煤中的元素 O 生成的氧气量之和应等于 SO_2 、 CO_2 、CO 氧化消耗的氧气量、元素 H 燃烧的氧气在(干烟气中消失)与烟气中剩余的氧气之和。

关系⑨：空气氮气量与煤中的元素 N 生成的氮气量之和应等于烟气中氮气量。

关系⑩：锅炉的灰渣量等于煤中的 A。

上述十个关系是锅炉燃烧过程燃烧的平衡关系的完整、客观的描述。

在考虑烟气中的 CO 成份、灰渣中的未燃尽碳、元素氮含量的前提下，除了用以计算锅炉吸热量、效率、制粉系统热平衡所需的常规热力数据、给煤量、 SO_2 、 O_2 和飞灰含碳量之外，还需要至少四个条件，这些条件可以通过煤的元素经验公式、锅炉输入总风量或排烟的除了 SO_2 、 O_2 和飞灰含碳量之外的

其它测量得到。专利 02110116 忽略了 CO，可以省去一个条件。采用了两个煤元素含量间的经验公式，又得到了两个条件。还缺少一个条件。根据申请文件，专利 02110116 方案并没有忽略元素 N（尽管煤的元素 N 含量对燃烧影响不大，但因为关系到环保，应该被测量），故该方案实测数据不足。在忽略 CO 的条件下，仅测量 SO₂、O₂ 和飞灰含碳量，所述的方程组存在多个解，因此所述的求解过程得到的一种解不能保证有效。专利 02110116 测量煤的低位发热量误差在 2% 以内，则其测量锅炉效率的误差也在 2% 以内，因为锅炉效率本身通常的变化范围在 2% 以内，因此专利 02110116 测量结果的精度不能解决实际问题，也没有反映实际情况。

现有技术存在的问题的根本原因，在于理论上没有完全解决锅炉燃烧平衡方程组的完整构成和求解的条件。

发明内容

本发明的目的是提供一种大型煤粉炉优化控制系统，实现一种在理论的突破的基础上系统化、完整化、精确模型、最大程度上与实际相吻合的、有效的煤质元素分析结果，同时有效的测算出锅炉各项损失和效率，推算出包括挥发份在内的煤的工业分析结果，从而可以根据挥发份、排烟损失、不完全燃烧损失等数据，直接指导锅炉燃烧调整。

本发明是这样实现的：

一种大型煤粉炉优化控制系统，包括计算机硬件和软件、原始数据采集系统、优化结果或控制指导或指令数据输出系统，优化结果或控制指导或指令数据输出系统具有控制指令或仅提供控制需要的参考信息，该系统与或不与完成基本运行控制任务的常规的独立仪表系统或计算机系统通过标准热工信号或数据通信共享锅炉及制粉系统的常规数据和控制系统，计算机软件通过实测的有关数据计算出煤成份的分析数据和/或锅炉效率和/或锅炉各项损失，计算机软件的计算方法通过包括以下十个条件的方程组对锅炉燃烧平衡进行解析计算：

条件①：元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。

条件②：制粉系统的热平衡。

条件③：煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。

条件④~⑩：在下列十三项中选七项：

元素（例如 H、N）之间成份的回归方程或经验公式。

元素（例如 C、O）之间成份的回归方程或经验公式。

元素（例如 C、H）之间成份的回归方程或经验公式。

实测锅炉烟气的 SO₂得到的有煤的成份表示的相对映表达式。

实测锅炉烟气的 O₂得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 CO₂得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 N₂得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉烟气的 H₂O 得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉的飞灰含碳量得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉的飞灰量或煤的灰份得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测锅炉的烟气量得到的有煤的成份表示的相应表达式。

实测或推测锅炉的总风量（包括测算漏风）得到的有煤的成份表示的相应表达式。

一种大型煤粉炉优化控制系统，由计算机硬件和软件、原始数据采集系统、优化结果或控制指导或指令数据输出系统，优化结果或控制指导或指令数据输出系统具有控制指令或仅提供控制需要的参考信息，该系统与或不与完成基本运行控制任务的常规的独立仪表系统或计算机系统通过标准热工信号或数据通信共享锅炉及制粉系统的常规数据和控制系统，计算机软件通过实测的有关数据计算出煤成份的分析数据和/或锅炉效率和/或锅炉各项损失，原始数据采集系统包括以下十种实测数据中的四种数据的通道：

锅炉烟气的 SO₂

锅炉烟气 CO₂

烟气的 N₂

烟气的 H₂O

锅炉的飞灰量或煤的灰份

锅炉的烟气量

锅炉的总风量（包括测算漏风）

飞灰含碳量

锅炉烟气的 O₂

锅炉烟气的 CO。

可以将烟气 CO、飞灰含碳量、元素 N 分别设为常数。

计算机软件根据煤的元素分析结果和门捷列夫经验公式或其他经验公式求出煤的低位发热量。

计算机软件根据上述分析结果计算出锅炉的各项损失或效率。

计算机软件根据煤的元素构成、挥发份或固定碳与 C 元素成份的回归方程或经验公式求出煤的挥发份和/或固定碳、水份、灰份工业分析结果。

元素 C、O 之间成份的回归方程为 $O_{ar} = A_1C_{ar} + B_1$, 适用于烟煤和褐煤, 其中对于烟煤 $A_1 = -0.9$, $B_1 = 85.0$, 相关系数 $\gamma = -0.98$; 对于褐煤 $A_1 = -0.84$, $B_1 = 80.38$, 相关系数 $\gamma = -0.95$ 。

所述的元素 H、N 之间成份的回归方程为 $N_{ar} = A_2H_{ar} + B_2$, 其中 $A_2 = 0.3$, $B_2 = 0$ 。

元素 C、H 之间成份的回归方程为 $H_{ar} = A_3C_{ar} + B_3$, 适用于无烟煤和烟煤, 其中对于无烟煤 $A_3 = -0.448$, $B_3 = 44.73$, 相关系数 $\gamma = -0.83$; 对于烟煤 $A_3 = -0.24$, $B_3 = 26.1$, 相关系数 $\gamma = -0.72$ 。

挥发份 V 与元素 C 成份的回归方程为 $V_{ar} = A_4C_{ar} + B_4$, 其中对于烟煤 $A_4 = -2.52$, $B_4 = 247.8$, 相关系数 $\gamma = -0.86$; 对于无烟煤 $A_4 = -1.087$, $B_4 = 107.5$, 相关系数 $\gamma = -0.86$; 对于褐煤 $A_4 = -1.14$, $B_4 = 129.9$, 相关系数 $\gamma = -0.74$ 。

本发明的优点和产生的积极效果:

本发明不仅从理论到实际从根本上完整回答和解决了锅炉在燃煤煤质和锅炉效率损失的实时在线测算分析的方案, 实现了用完整严谨的数学模型得到锅炉煤质和锅炉效率损失唯一解的工程解决方案, 而且提出的方案可以在各种不同的已知条件下[不同的已知条件的完整组合结果达到 $1716(13! / (7! \times 6!))$ 种之多]实时在线对锅炉在燃煤煤质化验和效率及损失计算。因此本发明提出的是基于同一理论的多种实际方案, 实际应用中对于不同的对象条件, 具体方案灵活性很大。而且对于不同的方法可以同时应用, 结果可以进行对比分析或相互校验、甄别正误、或对结果进行平均。对于实际工程应用

和理论研究，本发明均开创了一种重要的、通用的行业标准分析和研究方法。因此本发明可以建立完整严谨的锅炉联立方程组，可以考虑了 CO、元素 N、机械未燃烧碳等对成份平衡、能量平衡的影响，形成了锅炉燃烧精确的数学模型，从而得到了更好的煤的元素分析结果。由于锅炉效率计算是以煤的元素分析结果为依据的，所以本发明对锅炉的各项损失和效率的计算更接近实际。由于元素 C 含量的结果是较接近真实的，根据经验公式得到的挥发份值具有实际应用价值。根据本发明得到的挥发份、排烟损失、不完全燃烧损失，可以直接指导锅炉燃烧调整。根据本发明得到的锅炉效率计算结果，可以用于锅炉运行质量的评价。由于本发明得到的数据具有实时性、代表性和真实性，实现了大型煤粉炉优化控制系统技术的实质性突破，使该系统具备比现有技术更好的实用性。

同时本发明涵盖了任何假设条件下的简化、近似解决方案。例如忽略烟气中的 CO 成份或灰渣中的未燃尽碳，仅需要假设该项测量数据为零或常数。排烟损失简化计算，假设各种气体的比热值为常数即可。不计空气水分，仅需设空气水分为零。

具体实施方式

本发明的实施例一：

根据本发明的方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见(12)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 $S0_2$ ，得到的有煤中的 S 成份与烟气中的 $S0_2$ 成份相对映表达式。见(5)式。

⑤元素（例如 H、N）之间成份的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素（例如 C、O）之间成份的回归方程或经验公式。见(3)式。

⑦实测锅炉烟气的 O₂ 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧实测锅炉烟气的 CO₂ 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(10)。

(11) 式。

⑨ 实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(7)(10)式。

⑩ 实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(8)式。

大量的煤质化验结果证明烟煤的元素 C 和元素 O 之间、元素 N 和元素 H 之间的含量数值关系相当稳定，元素 C 和元素 H 的含量之间的关系相对不稳定，煤的热值主要来自元素 C 和元素 H，干燥无灰基发热量的变化主要来自元素 C 和元素 H 之间的比值，这是造成同一煤种也是造成不同煤种煤质变化的主要因素。

烟气测量得到的 O_2 , SO_2 , CO_2 , CO, 给煤系统测量得到的总煤量 B, 飞灰含碳量测量得到的 C_{fh} ,

根据飞灰份额 α_{fh} 炉渣含碳量 C_{lz} 的统计规律或平均值，计算出未燃烧碳

$$C_{ub} = A_{ar} [(1 - \alpha_{fh}) C_{lz} / (1 - C_{lz}) + C_{fh} / (1 - C_{fh})] \quad (1)$$

主蒸汽流量 D、主蒸汽温度 t, 再热蒸汽流量 D、再热入口蒸汽温度 t'、再热出口蒸汽温度 t" 等常规热力数据，计算出锅炉吸热量 BQ_1 。

根据

煤的元素成份表达式

$$C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} = 100 - M_{ar} \quad (2)$$

煤的元素含量之间的经验公式，对于烟煤

$$O_{ar} = A_1 C_{ar} + B_1 \quad (3)$$

$$A_1 = -0.9, B_1 = 85.0.$$

$$N_{ar} = A_2 H_{ar} + B_2$$

$$A_2 = 0.3, B_2 = 0. \quad (4)$$

用 S 元素含量计算干烟气量的表达式

$$V_{gy} = 100 \times 0.007 S_{ar} / SO_2 \quad (5)$$

干烟气量与空气过量系数的关系

$$V_{gy} = (V_{gy}^0 + (\alpha - 1) V_{gk}^0) \quad (6)$$

其中

α 为空气过量系数（总空气量与以实际燃尽碳计算的干空气量之比）

$$\alpha = 21 / (21 - 79 (O_2 - 0.5CO) / (100 - (CO_2 + SO_2 + CO + O_2))) \quad (7)$$

V_{gk}^0 为考虑机械未燃尽碳，以应用基元素成分计算的理论燃烧所需的干空气量。

$$V_{gk}^0 = 0.0889(C_{ar} + 0.375S_{ar}) + 0.265H_{ar} - 0.0333O_{ar} - 0.0889C_{ub} \quad (8)$$

V_{sy}^0 为考虑机械未燃尽碳，以应用基元素成分计算的理论燃烧产生的干烟气量。

$$V_{sy}^0 = 0.08889C_{ar} + 0.03331S_{ar} + 0.2094H_{ar} + 0.008N_{ar} - 0.0263O_{ar} - 0.08889C_{ub} \quad (9)$$

烟气成份与燃料特性系数的关系

$$CO_2 + SO_2 + O_2 = 21 - \beta (CO_2 + SO_2) - (0.605 + \beta) CO \quad (10)$$

燃料特性系数

$$\beta = 2.35(H_{ar} - 0.1260_{ar} + 0.038N_{ar}) / (C_{ar} - C_{ub} + 0.375S_{ar}) \quad (11)$$

煤的低位发热量与元素含量之间的经验公式

$$Q_{ar, net} = 339C_{ar} + 1028H_{ar} - 109(O_{ar} - S_{ar}) - 25M_{ar} \quad (12)$$

烟气水份

$$V_{H2O} = 0.0124M_{ar} + 0.1118H_{ar} + 0.0161\alpha V_{gk}^0 \quad (13)$$

各种烟气体积

$$V_{CO_2} = V_{sy}(CO_2 + SO_2) \quad (14)$$

$$V_{CO} = V_{sy}CO \quad (15)$$

$$V_{O_2} = V_{sy}O_2 \quad (16)$$

$$V_{N_2} = V_{sy}(100 - (CO_2 + SO_2 + CO + O_2)) \quad (17)$$

锅炉效率和各项损失的表达式

锅炉效率

$$\eta = Q_1 / Q_{ar, net} \quad (18)$$

排烟损失

$$q_2 = [(V_{CO_2}C_{CO_2} + V_{CO}C_{CO} + V_{N_2}C_{N_2} + V_{O_2}C_{O_2} + V_{H2O}C_{H2O}) - \theta_{py} \\ - \alpha V_{gk}^0(C_{gk} + 0.0161C_{H2O}) t_0] / Q_{ar, net} \quad (19)$$

化学不完全燃烧损失

$$q_3 = 126.4 V_{CO} / Q_{ar, net} \quad (20)$$

机械不完全燃烧损失

$$q_4 = 328.66 C_{ub} / Q_{ar, net} \quad (21)$$

散热损失

$$q_5 = q_e D_e / D \quad (22)$$

灰渣物理热损失

$$q_6 = A_{ar} [C_{fh} \theta_{py} \alpha_{fh} + 554 (1 - \alpha_{fh})] / 100 Q_{ar, net} \quad (23)$$

锅炉热平衡方程

$$\eta + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 1 \quad (24)$$

以上 24 方程式，共有 24 变量（为 C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 S_{ar} 、 V_{gk}^0 、 V_{gy}^0 、 V_{gy} 、 α 、 β 、 C_{ub} 、 A_{ar} 、 V_{R02} 、 V_{N2} 、 V_{O2} 、 V_{CO} 、 V_{H2O} 、 $Q_{ar, net}$ 、 η 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 ），构成了锅炉燃烧联立方程组。锅炉燃烧联立方程组求解方法如下：

以实际经常使用的煤种的 A_{ar} 值作为变量 A_{ar} 的初始值，根据 (1) 式求出 C_{ub} 的初始值 (C_{ub})⁰。

设 $\delta = 0.1$, $\xi = -1$, $\mu = -0.5$ 。

以下为多次逐渐逼近迭代求解过程，设 $\Sigma q = \eta + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$ ，设迭代次数为 i ：

第一步：将 $(A_{ar})^i$ 数据代入 (1) 式求出 $(C_{ub})^i$ 。

第二步：将 $(C_{ub})^i$ 数据代入 (8)、(9) 式。

第三步：将 (5) 式、(7) 式、(8) 式、(9) 式代入 (6) 式，根据 (10) 式求出 β ，将 β 代入 (11) 式，此式与 (2) 式、(3) 式、(4) 式、(6) 式构成 C_{ar} 、 H_{ar} 、 O_{ar} 、 N_{ar} 、 S_{ar} 的五元线性一次方程组，直接求解得 $(C_{ar})^i$ 、 $(H_{ar})^i$ 、 $(O_{ar})^i$ 、 $(N_{ar})^i$ 、 $(S_{ar})^i$ 。

第四步：将 $(C_{ar})^i$ 、 $(H_{ar})^i$ 、 $(O_{ar})^i$ 、 $(N_{ar})^i$ 、 $(S_{ar})^i$ 数据代入 (6) 式 ~ (9) 式、(12) 式 ~ (23) 式，得 $(Q_{ar, net})^i$ 、 $(q_1)^i$ 、 $(q_2)^i$ 、 $(q_3)^i$ 、 $(q_4)^i$ 、 $(q_5)^i$ 、 $(q_6)^i$ 。

第五步：求 $\Sigma q - 1$,

若 $|\Sigma q - 1|^i < 0.001\%$ ，则求解完成，至第九步。

第六步：若 $(\Sigma q - 1)^i (\Sigma q - 1)^{i+1} > 0$,

$$|\Sigma q - 1|^i - |\Sigma q - 1|^{i+1} < 0, \text{ 设 } \xi = 1.$$

第七步：若 $(\Sigma q - 1)^i (\Sigma q - 1)^{i+1} < 0, \delta = \mu \delta$ 。

第八步：设 $(A_{ar})^{i+1} = (A_{ar})^i + \xi \delta$, 返回第一步。

第九步：逐渐逼近迭代求解过程结束。

挥发份计算：

$$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4, \text{ 对于烟煤 } A_4 = -2.52, B_4 = 247.8.$$

固定碳计算：

$$C_{ar, GD} = 100 - V_{ar} + A_{ar} + M_{ar}.$$

本发明的实施例二：

根据本发明的方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见(12)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 , 得到的有煤中的 S 成份与烟气中的 SO_2 成份相对映表达式。见(5)式。

⑤元素(例如 H、N)之间成份的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素(例如 C、H)之间成份的回归方程或经验公式。见下式。

$$H_{ar} = A_3 C_{ar} + B_3, \text{ 对于无烟煤 } A_3 = -0.448, B_3 = 44.73.$$

⑦实测锅炉烟气的 O_2 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧实测锅炉烟气的 CO_2 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(10)、(11)式。

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(7)(10)式。

⑩实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(8)式。

挥发份计算：

$$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4, \text{ 对于无烟煤 } A_4 = -1.087, B_4 = 107.5.$$

固定碳计算：

$$C_{ar, GD} = 100 - V_{ar} + A_{ar} + M_{ar}.$$

求解过程参见例一。

本发明的实施例三：

根据本发明的方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见(12)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 ，得到的有煤中的 S 成份与烟气中的 SO_2 成份相对应表达式。见(5)式。

⑤元素（例如 H、N）之间成份的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素（例如 C、O）之间成份的回归方程或经验公式。见(3)式。

⑦实测锅炉烟气的 O₂ 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧实测锅炉的飞灰量或煤的灰份得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(2)式。

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(7)(10)式。

⑩实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(8)式。

求解过程参见例一。

挥发份计算：

$$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4, \text{ 对于烟煤 } A_4 = -2.52, B_4 = 247.8.$$

固定碳计算：

$$C_{ar, GD} = 100 - V_{ar} + A_{ar} + M_{ar}.$$

求解过程参见例一。

本发明的实施例四：

根据本发明的方案本实施例所采用的十个条件为：

①元素的总发热量应等于锅炉的吸热量与各项损失之和相等。见(12)式。

②制粉系统的热平衡。计算出 M_{ar} 。

③煤的总输入量与元素与水、灰的和相等。见(2)式。

④实测锅炉烟气的 SO_2 , 得到的有煤中的 S 成份与烟气中的 SO_2 成份相对映表达式。见(5)式。

⑤元素(例如 H、N)之间成份的回归方程或经验公式。见(4)式。

⑥元素(例如 C、O)之间成份的回归方程或经验公式。见(3)式。

⑦实测锅炉烟气的 O_2 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(6)、(7)、(8)、(9)式。

⑧元素(例如 C、H)之间成份的回归方程或经验公式。见下式。

$$H_{ar} = A_3 C_{ar} + B_3, \text{ 对于烟煤 } A_3 = -0.24, B_3 = 26.1.$$

⑨实测锅炉烟气的 CO 得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(7)(10)式。

⑩实测锅炉飞灰含碳量测量得到的有煤的成份表示的相应表达式。见(8)式。

求解过程参见例一。

挥发份计算:

$$V_{ar} = A_4 C_{ar} + B_4, \text{ 对于烟煤 } A_4 = -2.52, B_4 = 247.8.$$

固定碳计算:

$$C_{ar, ed} = 100 - V_{ar} + A_{ar} + M_{ar}.$$